




# HIGH-SCANDIUM ALUMINIUM ALLOY AND METHOD FOR MAKING SEMI-FINISHED PRODUCTS

**Patent number:** WO9526420  
**Publication date:** 1995-10-05  
**Inventor:** COLLIN JEAN-PIERRE (FR)  
**Applicant:** COLLIN JEAN PIERRE (FR)  
**Classification:**  
- international: C22C21/06; C22C21/16; C22F1/047; C22F1/057  
- european: C22C21/00, C22C21/06, C22C21/16, C22F1/04, C22F1/047  
**Application number:** WO1995FR00220 19950224  
**Priority number(s):** FR19940003604 19940328

## Also published as:

 FR2717827 (A1)

## Cited documents:

 EP0521163  
 US4950560

Abstract not available for WO9526420

Abstract of correspondent: **FR2717827**

Metallurgical aluminium alloys for use in the semi-finished product manufacturing industry as construction materials for aircraft, spacecraft, ships, cars and rolling stock. Aluminium alloy compositions providing excellent material strength characteristics by means of added scandium, zirconium, cerium and vanadium have been developed, thus enabling stronger welds and assemblies and lighter welded structures to be achieved.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

**PCT**ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE  
Bureau international

## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

|   |  |  |
|---|--|--|
| (51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> :<br>C22C 21/06, 21/16, C22F 1/047, 1/057   | A1   | (11) Numéro de publication internationale: WO 95/26420<br>(43) Date de publication internationale: 5 octobre 1995 (05.10.95) |
| (21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR95/00220<br>(22) Date de dépôt international: 24 février 1995 (24.02.95)<br>(30) Données relatives à la priorité:<br>94/03604 28 mars 1994 (28.03.94) FR<br>(71)(72) Déposant et inventeur: COLLIN, Jean-Pierre [FR/FR]; 4, rue des Sources, F-92160 Antony (FR).   | (81) Etats désignés: AU, CA, CN, JP, RU, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).<br><br>Publiée<br>Avec rapport de recherche internationale. |  |
| <p>(54) Title: HIGH-SCANDIUM ALUMINIUM ALLOY AND METHOD FOR MAKING SEMI-FINISHED PRODUCTS</p> <p>(54) Titre: ALLIAGE D'ALUMINIUM A HAUTES TENEURS EN SCANDIUM ET PROCEDE DE FABRICATION DES PRODUITS SEMI-FINIS</p> <p>(57) Abstract</p> <p>Metallurgical aluminium alloys for use in the semi-finished product manufacturing industry as construction materials for aircraft, spacecraft, ships, cars and rolling stock. Aluminium alloy compositions providing excellent material strength characteristics by means of added scandium, zirconium, cerium and vanadium have been developed, thus enabling stronger welds and assemblies and lighter welded structures to be achieved.</p> <p>(57) Abrégé</p> <p>L'invention se rapporte au domaine de la métallurgie des alliages à base d'aluminium destinés à être utilisés dans l'industrie de fabrication de produits semi-finis en tant que matériaux de construction des avions, appareils cosmiques, navires, voitures, wagons. L'invention concerne le développement des compositions d'un alliage à base d'aluminium garantissant de hautes caractéristiques de résistance des matériaux par l'introduction dans l'alliage de scandium, de zirconium, de cérium et de vanadium. L'invention permet d'augmenter la résistance des soudures, ainsi que celle des constructions, et de diminuer le poids des structures soudées.</p> |  |  |

# **UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

|    |                           |    |  |    |                       |
|----|---------------------------|----|--|----|-----------------------|
| AT | Autriche                  | GB | Royaume-Uni                                | MR | Mauritanie            |
| AU | Australie                 | GE | Géorgie                                    | MW | Malawi                |
| BB | Barbade                   | GN | Guinée                                     | NE | Niger                 |
| BE | Belgique                  | GR | Grèce                                      | NL | Pays-Bas              |
| BF | Burkina Faso              | HU | Hongrie                                    | NO | Norvège               |
| BG | Bulgarie                  | IE | Irlande                                    | NZ | Nouvelle-Zélande      |
| BJ | Bénin                     | IT | Italie                                     | PL | Pologne               |
| BR | Brésil                    | JP | Japon                                      | PT | Portugal              |
| BY | Bélarus                   | KE | Kenya                                      | RO | Roumanie              |
| CA | Canada                    | KG | Kirghizistan                               | RU | Fédération de Russie  |
| CF | République centrafricaine | KP | République populaire démocratique de Corée | SD | Soudan                |
| CG | Congo                     | KR | République de Corée                        | SE | Suède                 |
| CH | Suisse                    | KZ | Kazakhstan                                 | SI | Slovénie              |
| CI | Côte d'Ivoire             | LI | Liechtenstein                              | SK | Slovaquie             |
| CM | Cameroun                  | LK | Sri Lanka                                  | SN | Sénégal               |
| CN | Chine                     | LV | Lettonie                                   | TD | Tchad                 |
| CS | Tchécoslovaquie           | MC | Monaco                                     | TG | Togo                  |
| CZ | République tchèque        | MD | République de Moldova                      | TJ | Tadjikistan           |
| DE | Allemagne                 | MG | Madagascar                                 | TT | Trinité-et-Tobago     |
| DK | Danemark                  | ML | Mali                                       | UA | Ukraine               |
| ES | Espagne                   | MN | Mongolie                                   | US | Etats-Unis d'Amérique |
| FI | Finlande                  |    |  | UZ | Ouzbékistan           |
| FR | France                    |    |  | VN | Viet Nam              |
| GA | Gabon                     |    |  |    |                       |

## ALLIAGE D'ALUMINIUM À HAUTES TENEURS EN SCANDIUM ET PROCÉDÉ DE FABRICATION DES PRODUITS SEMI-FINIS.

5 L'invention se rapporte au domaine de la métallurgie des alliages d'aluminium. Les alliages d'aluminium faisant l'objet de l'invention contiennent du scandium et sont alliés à du magnésium, du cuivre, du zinc, du silicium, du lithium, à un ou plusieurs métaux de transition du groupe de terre rare. Ces alliages sont destinés à être utilisés dans l'industrie de fabrication de produits semi-finis pressés ou laminés.

10 Selon l'art antérieur connu, on sait que les alliages d'aluminium ne possèdent pas de caractéristiques suffisamment hautes de résistance, en particulier sur :

- ♦ les limites de fluidité en état recuit.
- 15 ♦ les limites de fluidité en état de déformation à chaud
- ♦ les limites de fluidité des alliages traités thermiquement.

La méthode répandue de production des produits semi-finis d'alliages d'aluminium est la suivante : les lingots d'alliage d'aluminium obtenus par un procédé continu dans un cristallisateur à glissement sont soumis à :

- ♦ homogénéisation de 520 à 550°C
- ♦ laminage à chaud ou pressage après chauffage des lingots avant la déformation de 480°C à 500°C
- 25 ♦ laminage à froid et recuits intermédiaires
- ♦ traitement thermique des produits semi-finis.

Le but de la présente invention concerne le développement des compositions d'un alliage à base d'aluminium garantissant de hautes caractéristiques de résistance des matériaux en état recuit, en déformation chaude ou en traitement thermique (trempage + vieillissement), ainsi que l'augmentation de résistance des soudures gardant les propriétés de déformabilité lors du traitement sous pression.

30 Le but fixé est obtenu non seulement par l'introduction dans l'alliage proposé de scandium, de zirconium, de cérium, de vanadium à la répartition des composants (Voir Tableau 1.1), mais également par la technologie de fabrication des produits semi-finis.

L'invention permet d'augmenter la résistance des soudures ainsi que celle des constructions et de diminuer le poids des constructions soudées de différents types et dans différents domaines d'applications.

Le but de la présente invention est obtenu par le procédé de fabrication de produits semi-finis qui se compose de :

- moulage des lingots à la vitesse de refroidissement lors de la cristallisation supérieure à 0,5°C
- 5 • homogénéisation des lingots de 430°C à 450°C
- laminage à chaud ou pressage à une température de début de déformation (de 430°C à 450°C) et de fin de déformation (300°C).
- déformation à froid et recuits intermédiaires à 400°C (vitesse de déformation inférieure à 100 s)
- 10 • traitement thermique des produits semi-finis.

Le défaut de la méthode répandue appliquée aux alliages d'aluminium au scandium est que le fait d'utiliser une haute température d'homogénéisation et de laminage à chaud ainsi que des grandes vitesses de déformation provoque l'apparition dans la structure de l'alliage de grands précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  (diamètre plus de 200 nm) et également l'aggravation de l'effet de durcissement structural.

La méthode répandue la plus proche de la méthode proposée a été choisie comme méthode-prototype :

- 20 • moulage des alliages d'aluminium dans un cristallisateur à glissement à la vitesse de refroidissement lors de la cristallisation supérieure à 0,5°C/s permet d'obtenir des lingots d'alliages de solution solide sursaturée de scandium.
- homogénéisation des lingots à la température de 430°C à 450°C amène à la décomposition de la solution solide sursaturée et à la formation de précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  de diamètre 5 à 60 nm.
- 25 • déformation ultérieure du lingot à chaud aux mêmes températures (de 430°C à 450°C) et à des vitesses moyennes de déformation de 20 à 30 m/min. contribue à la formation autour des précipités secondaires  $\text{ScAl}_3$  d'une substructure polygonisée, résistante au développement des processus de recristallisation
- 30

Les réchauffements technologiques postérieurs ne doivent pas contribuer au changement considérable de la morphologie des précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  et de l'angle de la désorientation des sous-grains.

- 35 L'utilisation de basses vitesses de refroidissement de 5 à 10°C/min. lors du moulage ne permettra pas d'avoir des lingots à l'état d'une solution solide sursaturée de scandium dans l'aluminium. L'utilisation de hautes températures d'homogénéisation (plus de 450°C) et de la déformation à chaud ainsi que de grandes vitesses de déformation produira la formation de précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  de plus de 100 nm et l'affaiblissement des caractéristiques de
- 40 résistance.

L'utilisation de basses températures de traitement thermique des lingots inférieures à 300°C provoquera une décomposition partielle de la solution solide sursaturée de scandium dans l'aluminium, la diminution de la part volumique des précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  et comme conséquence, les basses valeurs des caractéristiques de résistances.

L'amélioration des caractéristiques de résistance des alliages d'aluminium suivant la méthode du traitement est garantie par l'introduction du scandium de 0,15 à 0,5 %\* et du zirconium de 0,05 à 0,3 %. Les alliages peuvent avoir dans leur composition un ou plusieurs éléments du groupe :

10

- Silicium 0,5 - 12
- Magnésium 0,5 - 10
- Cuivre 0,5 - 10
- Zinc 0,5 - 10
- 15 • Lithium 0,5 - 5,0
- Argent 0,5 - 10,0

20

Le durcissement par les éléments ci-dessus énumérés est obtenu par le processus d'alliage de la solution solide et par le dégagement des phases correspondantes des durcisseurs lors du vieillissement.

L'amélioration complémentaire de l'ensemble des propriétés mécaniques des semi-produits d'alliages d'aluminium au scandium est liée au processus d'alliage par au moins un ou plusieurs éléments du groupe:

25

- Manganèse 0,30-2,50
- Titane 0,05-0,50
- Cérium 0,05-0,30
- Chrome 0,10- 1,00
- 30 • Vanadium 0,05-0,30
- Molybdène 0,05-0,30
- Cobalt 0,05-0,30
- Nickel 0,10-1,50

35

L'introduction de ces éléments produit une modification de la structure du lingot (affinement du grain), l'augmentation de la température du début de recristallisation et de la température de vieillissement.

---

\* (%) - masse. %

La diminution de la teneur de ces éléments au-dessous de la limite indiquée ne provoque ni modification de la structure du lingot, ni l'augmentation de la température du début de recristallisation, ni amélioration des propriétés mécaniques.

- 5 L'augmentation de la teneur des éléments indiqués entraîne la formation, dans la structure, de grandes quantités d'intermétalloïdes, la fragilisation des alliages et l'affaiblissement des caractéristiques de résistance.

L'invention sera mieux comprise à l'aide d'exemples illustratifs.

- 10 Ci-dessous l'invention d'alliage d'aluminium au scandium sous quatre variantes avec leurs caractéristiques et leurs applications.

#### *Variante N°1*

- 15 *(Les compositions et les résultats sont reportés au Tableau 1.1)*

Les additions dans l'alliage-prototype de scandium et de vanadium en combinaison avec au moins un métal du groupe contenant manganèse, chrome, titane durcissent l'alliage par formation d'intermétalloïdes secondaires de dispersion et déterminent l'apparition d'un effet structural dans le semi-produit déformé à chaud; cet effet est la conservation de la structure non recristallisée ce qui durcit en supplément l'alliage.

- 20 L'addition du béryllium protège l'alliage de l'oxydation lors de moulage, soudage, ce qui contribue à l'augmentation de la résistance de l'alliage et des soudures.

- 25 L'addition de cérium diminue la teneur de l'hydrogène dissous dans l'alliage par formation d'hydrures, ce qui contribue à l'augmentation de la densité de la soudure (diminution de la porosité gazeuse).

- 30 L'effet positif maximum est obtenu si on introduit conjointement du scandium, du vanadium, du cérium et du béryllium dans l'alliage contenant magnésium et un ou plusieurs métaux du groupe (zirconium, manganèse, chrome, titane).

#### *Variante N°2*

- 35 *(Les compositions et les résultats sont reportés au Tableau 1.2)*

- Les additions dans l'alliage-prototype de scandium et de zirconium et de vanadium en combinaison avec au moins un métal du groupe contenant manganèse, chrome, titane durcissent l'alliage par formation d'intermétalloïdes secondaires de dispersion et déterminent la conservation d'un effet structural dans un semi-produit recuit, la conservation de la structure
- 40

non-recristallisée, ce qui durcit en supplément l'alliage. Les additions du cérium durcissent en supplément l'alliage par formation des hydrures et oxydes et diminuent la teneur des impuretés gazeuses en solution solide. L'effet maximum est obtenu par introduction conjointe des constituants (Voir Tableau 1.2).

5

#### *Variante 3*

*(Les compositions et les résultats sont reportés au Tableau 1.3)*

Les additions dans l'alliage-prototype de scandium, de vanadium, de cérium et de zirconium en combinaison avec au moins un métal du groupe contenant manganèse, chrome, titane durcissent l'alliage par formation d'intermétalloïdes secondaires de dispersion et déterminent l'apparition d'un effet structural dans le semi-produit déformé à chaud. Cet effet est la conservation de la structure non recristallisée, ce qui durcit en supplément l'alliage.

10

L'addition de cérium diminue également la teneur de l'hydrogène dissous dans l'alliage par formation des hydrures, ce qui contribue à la diminution de la porosité gazeuse de l'alliage.

15

L'effet positif maximum (Voir Tableau 1.4) est obtenu si, dans l'alliage d'aluminium contenant cuivre et magnésium, on introduit conjointement du scandium, du vanadium, du cérium et du zirconium en combinaison avec les métaux transitoires: manganèse, chrome, titane.

20

#### *Variante 4*

*(Les compositions et les résultats sont reportés au Tableau 1.4)*

L'introduction dans l'alliage-prototype du zirconium, du vanadium et au moins d'un métal du groupe chrome, titane, molybdène durcit l'alliage par précipités secondaires de dispersion des intermétalloïdes des métaux transitoires et par formation dans l'alliage d'une structure polygonisée résistante au développement des processus de recristallisation.

25

L'effet positif maximum est obtenu par introduction conjointe des composants (Voir Tableau 1.4).

30

### **EXEMPLES**

Pour essayer les quatre variantes proposées plusieurs fusions ont été préparées.

#### **FUSION 1**

35

Les compositions des alliages préparés sont présentées dans le Tableau 2

Les alliages 1 à 3 représentent l'alliage proposé avec une teneur des constituants: minimale (1), optimale (2), maximale (3).



Les compositions 4 à 7 sont celles avec la teneur optimale des constituants et avec du manganèse à la place du zirconium (4), du chrome à la place du zirconium (5), du titane à la place du zirconium (6).

Composition 7 représente l'alliage proposé avec une teneur optimale de tous les constituants.

- 5 Composition 8 représente un alliage-prototype avec une teneur moyenne des constituants, elle est donnée dans le **Tableau 2** à titre de comparaison.

- 10 Les barres pressées de 10 mm de diamètre et les tôles de 2 mm d'épaisseur ont été fabriquées avec des alliages de toutes les compositions du **Tableau 2**. Les barres en état de pressage à chaud et en état recuit ainsi que les tôles en état recuit ont été testées à température ambiante. En plus les tôles en état recuit ont été soudées par soudage à l'arc dans l'argon et les soudures ont été testées à température ambiante. Les résultats des essais de l'alliage proposé et de l'alliage-prototype sont présentés dans les **Tableaux 3 et 4**.

- 15 Comme on le voit dans les données des **Tableaux 3 et 4**, l'alliage proposé et les soudures de l'alliage proposé possèdent des caractéristiques élevées de résistance. L'alliage proposé est beaucoup plus résistant que les alliages connus à base d'aluminium non-durci thermiquement. L'utilisation de l'alliage proposé permettra d'augmenter la résistance de construction et de diminuer le poids des constructions soudées de différents types et dans les différents domaines d'applications.
- 20

## *FUSION 2*

Des lingots de différentes compositions ont été coulés avec l'alliage proposé ( voir **Tableau 5**).

- 25 Des barres de 10mm de diamètre ont été fabriquées à partir de lingots de toutes compositions. Les vitesses limites d'écoulement du métal ont été définies au moment du pressage.

Les barres de 10 mm de diamètre ont été testées à la température ambiante en état recuit.

- Le **Tableau 6** présente les résultats des essais de 5 compositions de l'alliage proposé. Les caractéristiques de l'alliage-prototype AMG2 (composition 6) sont données à titre de comparaison.
- 30

- Comme on le constate dans les données du **Tableau 6**, l'alliage proposé possède de hautes caractéristiques de résistance. En état recuit, l'alliage a une limite de résistance qui est de 2,5 à 4,5 kg/mm<sup>2</sup> plus élevée et une limite de fluidité de 2,5 à 8,6 kg/mm<sup>2</sup> plus élevée que celles de l'alliage-prototype.
- 35

Les caractéristiques de déformabilité de l'alliage proposé au traitement sous pression sont plus élevées que celle de l'alliage-prototype.

- L'utilisation de l'alliage proposé permettra d'augmenter la résistance des constructions dans différents domaines de l'industrie.
- 40

### FUSION 3

Plusieurs alliages ont été préparés: alliage-prototype à composition chimique moyenne (1),  
5 alliage proposé avec une teneur minimale des composants (2), à composition chimique moyenne  
(3), avec une teneur maximale des composants (4), à composition chimique moyenne incluant  
du manganèse (5), à composition chimique moyenne incluant du chrome (6), à composition  
chimique moyenne incluant du titane (7), à composition chimique moyenne contenant les  
10 éléments suivants : manganèse, zirconium, chrome, titane(8).

Les compositions chimiques des alliages sont présentées dans le Tableau 7.

Des tôles (1mm) laminées à froid ont été fabriquées à partir des alliages de toutes les  
15 compositions du Tableau 7. Ces tôles traitées thermiquement ont été testées à la température  
ambiante.

Les régimes de traitement thermique :

T - trempage en eau, après le réchauffement pendant 2h de 496°C à 505°C ; vieillissement  
20 naturel - 1 mois;

T1 - trempage en eau et vieillissement naturel en régime T + vieillissement artificiel pendant  
14h à 190°C.

Le Tableau 8 présente les résultats des essais comparatifs des alliages de différentes  
25 compositions du Tableau 7.

Comme on le voit dans les données du Tableau 8, l'alliage proposé possède des caractéristiques  
élevées de résistance par rapport à l'alliage-prototype. L'application de l'alliage proposé  
permettra d'augmenter la résistance de construction et de diminuer le poids des ensembles dans  
30 les domaines aéronotique et spatial.

### FUSION 4

Plusieurs alliages ont été préparés:

- 35 ♦ alliage-prototype à composition chimique moyenne (1)
- ♦ alliage proposé avec une teneur minimale des composants (2)
- ♦ alliage à composition chimique moyenne (3)
- ♦ alliage avec une teneur maximale des composants (4)
- ♦ alliage à composition chimique moyenne incluant du chrome à la place du manganèse(5), du
- 40 titane à la place du chrome (6), du molybdène à la place du manganèse (7)
- ♦ alliage à composition chimique moyenne incluant du manganèse, du chrome, du titane, du  
molybdène (8)

Les compositions chimiques sont présentées dans le Tableau 9.

5 Du fil étiré à froid de 0,1 mm de diamètre a été fabriqué à partir des alliages de toutes les compositions du Tableau 9. Le fil en état recuit (à 320°C pendant 1h) a été essayé à la température ambiante, les résultats sont présentés dans le Tableau 10.

Résistance électrique de l'alliage-prototype (1) est de  $\rho=3,2$  microhm/cm<sup>2</sup>, résistance électrique des alliages étudiés est de  $\rho = 2,70$  à  $2,76$  microhm/cm<sup>2</sup>.

10 Comme on le voit dans les Tableaux 9 et 10, l'alliage proposé possède des caractéristiques élevées de résistance gardant une valeur de résistance électrique égale à celle de l'aluminium. L'alliage peut être utilisé en tant que élément conducteur dans des appareillages multiples.

### EXEMPLE

#### DE LA REALISATION

15

#### DE LA METHODE.

1. Justification de la nécessité d'utiliser des vitesses considérablement élevées de refroidissement lors de la cristallisation des lingots des alliages d'aluminium contenant du scandium.

20

Dans un cristallisateur à glissement ont été coulés des lingots de l'alliage Al-6,5Mg-0,4Sc-0,1Zr, le diamètre des lingots est compris entre 70 et 600 mm, vitesse de moulage de 1 à 5,5 m/h.

25

A partir de la partie médiane du lingot ont été prélevées des coupes ; en utilisant une méthode d'analyse microspectrographique à rayons X on a déterminé la teneur en scandium dans la solution solide. Les résultats sont donnés dans le Tableau 11.

30

Le scandium, n'étant pas entré dans une solution solide sursaturée d'aluminium, se dégage comme phase ScAl3 dans la composition de l'eutectique déséquilibrée.

35

En prenant en considération que le scandium, formant la solution solide sursaturée lors de la cristallisation, joue un rôle principal dans le processus de durcissement, alors la diminution de la vitesse de moulage et l'augmentation du diamètre du lingot entraînent la diminution de la teneur en scandium dans la solution solide sursaturée et en conséquence l'abaissement des caractéristiques de résistances des semi-produits ce que montre le Tableau 13.

40

2. Justification de la nécessité de l'abaissement de la température d'homogénéisation et de déformation à chaud de 430° à 450°C.

Les régimes thermiques optimaux d'homogénéisation des alliages du type AMG2 sont de 560°C à 580°C, AMG6 465°C pour la première étape et de 500°C à 515°C pour la deuxième étape.

- 5 L'utilisation de ces régimes pour les alliages d'aluminium au scandium entraîne l'affaiblissement des caractéristiques de résistance des semi-produits à cause de l'accroissement des précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  de la solution solide sursaturée lors de la cristallisation.

- 10 Le lingot de l'alliage Al-6,5Mg-0,4Sc-0,1Zr, avec une teneur de scandium dans la solution solide de 0,38 %, a été coulé dans un cristallisateur à glissement à la vitesse de 5,5 m/h. Le traitement du lingot a été effectué en 2 régimes :

Régime 1  $\Rightarrow$  Homogénéisation en régime optimal de 480 à 500°C°, pressage à chaud après réchauffement de lingot de 480 à 500°C.

- 15 Régime 2  $\Rightarrow$  Homogénéisation de 430°C à 450°C, pressage à chaud après réchauffement du lingot de 430°C à 450°C.

Les propriétés de l'alliage en état pressé à chaud et état recuit sont présentées dans le Tableau 12.

- 20 Comme on le voit dans les données du tableau, l'utilisation des régimes à basses températures d'homogénéisation et de traitement sous pression à chaud permet d'augmenter la limite de résistance des alliages d'aluminium au scandium de 7 à 8 kg/mm<sup>2</sup>, limite de fluidité - 9 kg/mm<sup>2</sup>.

3. Justification de nécessité de l'utilisation de la vitesse de déformation  $\epsilon < 100 \text{ s}^{-1}$ .

- 25 En cours de laminage de l'aluminium et de ses alliages, la vitesse de déformation varie entre  $\epsilon = 1$  à  $100 \text{ s}^{-1}$ ; en pressage et tréfilage de  $0,01$  à  $10 \text{ s}^{-1}$ ; dans cette gamme la vitesse de déformation n'influence pas la structure et les caractéristiques de résistances des alliages d'aluminium au scandium.

- 30 Mais l'utilisation des vitesses de déformation  $10^3 \text{ s}^{-1}$  entraîne l'abaissement des caractéristiques de résistance des alliages d'aluminium au scandium. Les anneaux de l'alliage Al-6,5Mg-0,4Sc-0,1Zr ont  $\sigma_b = 36 \text{ kg/mm}^2$ ,  $\sigma_{0,2} = 22 \text{ kg/mm}^2$ ; vitesse de déformation  $\epsilon = 10^3 \text{ s}^{-1}$  du fait des processus de recristallisation "in situ".

- 35 Comme on le voit dans les données du Tableau 13, l'augmentation de la vitesse du moulage jusqu'à 5,5 m/h et l'abaissement de la température d'homogénéisation et de réchauffage avant déformation de 430°C à 450°C, l'utilisation des vitesses de déformation jusqu'à  $100 \text{ s}^{-1}$  permet d'améliorer considérablement les caractéristiques de résistance des semi-produits des alliages d'aluminium au scandium  $\sigma_b = 8$  à  $15 \text{ kg/mm}^2$ ;  $\sigma_{0,2} = 6$  à  $15 \text{ kg/mm}^2$  ce qui est conditionné par
- 40 l'effet durcissant des précipités secondaires de la phase  $\text{ScAl}_3$  et par formation en cours de

déformation à chaud d'une substructure polygonisée résistante au développement des processus de recristallisation.

- 5 L'utilisation dans de multiples domaines de l'industrie de semi-produits fabriqués suivant la méthode appliquée sur les alliages proposés, grâce à leurs caractéristiques, permettra de diminuer le poids des constructions et de réduire la consommation d'énergie.

TABLEAU 1.1

Variante 1

| Composition chimique           | Alliage-prototype<br>(le plus proche à l'alliage proposé) | Alliage proposé       | Types de semi-produits proposés (1)   |
|--------------------------------|---|-----------------------|---|
| %                              | %   | %                     |   |
| <b>Magnésium</b>               | 4,50 - 7,00   | 5,80 - 7,20           | Tôles, différents produits pressés.   |
| <b>Béryllium</b>               | -   | 0,010 - 0,05          |   |
| <b>Zinc</b>                    | 0,50 - 1,50   | -                     |   |
| <b>Manganèse</b>               | 0,10 - 0,60   | au moins un métal     | Constructions soudables de grands gabarits fonctionnant aux milieux agressifs : |
| <b>Chrome</b>                  | 0,05 - 0,50   | choisi dans ce groupe |   |
| <b>Titane</b>                  | 0,05 - 0,25   | 0,05 - 0,30           |   |
| <b>Zirconium</b>               | 0,05 - 0,25   | 0,05 - 0,30           | • corps d'avions soudé  |
| <b>Scandium</b>                | -   | 0,15 - 0,50           |   |
| <b>Vanadium</b>                |   | 0,05 - 0,30           | • corps du bateau-hydrolyseur   |
| <b>Cérium</b>                  |   | 0,05 - 0,30           |   |
| <b>Aluminium</b>               | le reste  |                       | • réservoir de carburant des fusées   |
| <b>Additions admissibles :</b> |   |                       |   |
| <b>Fer</b>                     | ≤ 0,5   | 0,4                   | • corps d'appareils spatiaux, etc.  |
| <b>Silicium</b>                |   | 0,4                   |   |

(1) Température de travail : jusqu'à 150°C

TABLEAU 1.2

*Variante 2*

| Composition chimique    | Alliage-prototype<br>(le plus proche<br>à l'alliage proposé) | Alliage proposé       | Types de semi-<br>produits proposés<br>(1)  |
|-------------------------|--|-----------------------|---|
| %                       | %  | %                     |   |
| Magnésium               | 2,80 - 3,80  | 1,80 - 3,80           | Tôles, différents produits pressés.   |
| Béryllium               | 0,01 - 0,05  | 0,001 - 0,005         |   |
| Zinc                    | 0,40 - 0,70  | -                     |   |
| Manganèse               | 0,25 - 0,50  | au moins un métal     | Constructions soudables de grands gabarits fonctionnant aux milieux agressifs et sous irradiation radioactive : |
| Chrome                  | 0,02 - 0,10  | choisi dans ce groupe |   |
| Titane                  |  | 0,05 - 0,40           |   |
| Scandium                | -  | 0,20 - 0,50           |   |
| Vanadium                | -  | 0,05 - 0,30           | • Réservoir de carburant des avions et des fusées   |
| Cérium                  | -  | 0,05 - 0,30           |   |
| Zirconium               | -  | 0,05 - 0,30           | • premier paroi des réacteurs de synthèse thermonucléaire   |
| Aluminium               | le reste   |                       |   |
| Additions admissibles : |  |                       |   |
| Fer                     |  | 0,4                   |   |
| Silicium                |  | 0,4                   | • tubes des systèmes des réacteurs atomiques etc.   |

TABLEAU 1.3

*Variante 3*

| Composition chimique  | Alliage-prototype<br>(le plus proche<br>à l'alliage proposé) | Alliage proposé   | Types de semi-<br>produits proposés<br>(1)  |
|-----------------------|--|---|---|
| %                     | %  | %   |   |
| Cuivre                | 4,40   | 2,80 - 4,50   | Constructions rivetées<br>de grands gabarits<br>fonctionnant à des<br>températures élevées :<br>175°C |
| Magnésium             | 1,50   | 1,80 - 2,50   |   |
| Scandium              | -  | 0,15 - 0,60   |   |
| Vanadium              | -  | 0,05 - 0,30   |   |
| Cérium                | -  | 0,05 - 0,30   |   |
| Zirconium             | -  | 0,05 - 0,30   |   |
| Manganèse             | 0,60   | au moins un métal<br>choisi dans ce groupe<br>0,05 - 0,50 |   |
| Chrome                |  |   |   |
| Titane                |  |   |   |
| Aluminium             | le reste   |   |   |
| Additions admissibles |  |   |   |
| :                     |  |   |   |
| Fer                   |  | 0,4   |   |
| Silicium              |  | 0,4   |   |



TABLEAU 1.4

*Variante 4*

| Composition chimique    | Alliage-prototype<br>(le plus proche<br>à l'alliage proposé) | Alliage proposé   | Types de semi-<br>produits proposés  |
|-------------------------|--|---|--|
| %                       | %  | %   | (1)  |
| Scandium                | 0,20 - 0,50  | 0,15 - 0,60   | Fil pour les câbles<br>des éléments<br>conducteurs des<br>appareils fonction-<br>nant sous irradiation<br>de neutron :<br>$\rho = 2,76$<br>microhm/cm <sup>2</sup> |
| Cérium                  | 0,05 - 0,30  | 0,05 - 0,30   |  |
| Zirconium               | -  | 0,05 - 0,30   |  |
| Vanadium                | -  | 0,05 - 0,30   |  |
| Manganèse               | -  | au moins un métal<br>choisi dans ce groupe<br>0,05 - 0,80 |  |
| Chrome                  | -  |   |  |
| Titane                  | -  |   |  |
| Molybdène               | -  |   |  |
| Aluminium               | le reste   |   |  |
| Additions admissibles : |  |   |  |
| Fer                     |  | 0,4   |  |
| Silicium                |  | 0,4   |  |

TABLEAU 2

| N° de composition de l'alliage | Composition chimique en %<br>(base - Al) |     |      |      |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|--|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
|                                | Mg                                       | Mn  | Cr   | Ti   | Zr   | Ce   | V    | Sc   | Be    |
| 1                              | 5,8                                      | -   | -    | -    | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,15 | 0,001 |
| 2                              | 6,5                                      | -   | -    | -    | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,025 |
| 3                              | 7,2                                      | -   | -    | -    | 0,3  | 0,3  | 0,30 | 0,50 | 0,105 |
| 4                              | 6,5                                      | 0,2 | -    | -    | -    | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,025 |
| 5                              | 6,5                                      | -   | 0,2  | -    | -    | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,025 |
| 6                              | 6,5                                      | -   | -    | 0,2  | -    | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 0,025 |
| 7                              | 6,5                                      | 0,2 | 0,2  | 0,2  | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,025 |
| 8                              | 5,5                                      | 1,0 | 0,35 | 0,28 | 0,28 | 0,15 | 0,15 | -    | -     |

TABLEAU 3

CARACTERISTIQUES DE RESISTANCE DE L'ALLIAGE PROPOSE  
(BARRE DE 10MM DE DIAMETRE EN ETAT PRESSE A CHAUD (PC) ET EN ETAT RECUIT (R) )

| N° de composition de l'alliage | Etat<br>(1) | Caractéristiques de résistance                        |  |
|--------------------------------|-------------|---|--|
|                                |             | Limite de résistance<br>$\delta_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite fde fluidité<br>$\delta_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |
|                                |             |   |  |
| 1                              | PC          | 45,0  | 28,0   |
|                                | R           | 42,0  | 26,1   |
| 2                              | PC          | 49,1  | 39,5   |
|                                | R           | 42,4  | 32,1   |
| 3                              | PC          | 50,2  | 42,5   |
|                                | R           | 47,0  | 34,1   |
| 4                              | PC          | 47,0  | 33,0   |
|                                | R           | 47,1  | 31,3   |
| 5                              | PC          | 45,2  | 34,8   |
|                                | R           | 47,0  | 32,6   |
| 6                              | PC          | 46,9  | 34,4   |
|                                | R           | 41,8  | 29,9   |
| 7                              | PC          | 48,3  | 35,0   |
|                                | R           | 46,7  | 34,1   |
| 8                              | PC          | 36,3  | 21,0   |
|                                | R           | 35,5  | 20,2   |

TABLEAU 4

CARACTERISTIQUE DE RESISTANCE DE L'ALLIAGE PROPOSE  
( TOLE RECUTTE DE 2 MM D'EPaisseur, SOUDURES )

| N° de composition de l'alliage | Caractéristiques de résistance                     |  | Limite de résistance de soudure $\delta_b$ kg/mm <sup>2</sup> |
|--------------------------------|--|--|---|
|                                | Limite de résistance $\delta_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite de fluidité $\delta_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |   |
| 1                              | 39,5   | 25,0   | 38,1  |
| 2                              | 42,1   | 28,3   | 39,5  |
| 3                              | 44,0   | 29,4   | 40,4  |
| 4                              | 43,3   | 27,0   | 40,1  |
| 5                              | 42,9   | 26,3   | 39,9  |
| 6                              | 41,2   | 26,7   | 39,7  |
| 7                              | 43,3   | 30,1   | 40,1  |
| 8                              | 34,9   | 21,1   | 31,5  |

TABLEAU 5

| N° de composition de l'alliage | Composition chimique en %<br>(base - Al) |      |     |     |      |      |      |      |       |
|--------------------------------|--|------|-----|-----|------|------|------|------|-------|
|                                | Mg                                       | Mn   | Cr  | Ti  | Zr   | Ce   | V    | Sc   | Be    |
| 1                              | 1,8                                      | 0,05 | -   | -   | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,20 | 0,001 |
| 2                              | 2,8                                      | 0,2  | -   | -   | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,20 | 0,003 |
| 3                              | 3,8                                      | 0,4  | -   | -   | 0,3  | 0,3  | 0,30 | 0,50 | 0,005 |
| 4                              | 2,8                                      | -    | 0,2 | -   | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,003 |
| 5                              | 2,8                                      | -    | -   | 0,2 | 0,10 | 0,10 | 0,10 | 0,35 | 0,003 |

TABLEAU 6

CARACTERISTIQUES DE RESISTANCE DE L'ALLIAGE PROPOSE ET  
CARACTERISTIQUES DE DEFORMABILITE AU PRESSAGE.  
(BARRES DE 10 MM DE DIAMETRE EN ETAT RECUT)

| N° de composition de l'alliage | Caractéristiques de résistance des barres          |  | Vitesse d'écoulement limite au pressage m/min. |
|--------------------------------|--|--|--|
|                                | Limite de résistance $\delta_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite de fluidité $\delta_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |  |
| 1                              | 22,5   | 13,5   | 55,0   |
| 2                              | 23,5   | 18,5   | 40,0   |
| 3                              | 24,5   | 19,6   | 25,0   |
| 4                              | 23,0   | 15,3   | 35,0   |
| 5                              | 23,2   | 15,1   | 38,0   |
| 6                              | 20,0   | 11,0   | 20,0   |

TABLEAU 7

| N° de composition de l'alliage | Composition chimique en %<br>(base - Al) |      |      |      |      |      |      |      |     |
|--------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|-----|
|                                | Mg                                       | Mn   | Cr   | Ti   | Zr   | Ce   | V    | Sc   | Cu  |
| 1                              | 2,0                                      | 0,75 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | 4,0 |
| 2                              | 1,8                                      | -    | -    | -    | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,15 | 2,8 |
| 3                              | 2,0                                      | -    | -    | -    | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 4,0 |
| 4                              | 2,5                                      | -    | -    | -    | 0,5  | 0,30 | 0,30 | 0,60 | 4,5 |
| 5                              | 2,0                                      | 0,3  | -    | -    | -    | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 4,0 |
| 6                              | 2,0                                      | -    | 0,18 | -    | -    | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 4,0 |
| 7                              | 2,0                                      | -    | -    | 0,18 | -    | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 4,0 |
| 8                              | 2,0                                      | 0,3  | 0,15 | 0,15 | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,30 | 4,0 |

TABLEAU 8

| N° de composition de l'alliage | Etat           | Caractéristiques de résistance                        |  |
|--------------------------------|----------------|---|--|
|                                |                | Limite de résistance<br>$\delta_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite fde fluidité<br>$\delta_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |
| 1                              | T              | 46,0  | 28,0   |
|                                | T <sub>1</sub> | 38,0  | 31,0   |
| 2                              | T              | 48,0  | 34,0   |
|                                | T <sub>1</sub> | 42,0  | 33,8   |
| 3                              | T              | 54,0  | 38,4   |
|                                | T <sub>1</sub> | 47,0  | 38,0   |
| 4                              | T              | 52,0  | 37,2   |
|                                | T <sub>1</sub> | 45,0  | 37,0   |
| 5                              | T              | 48,0  | 32,0   |
|                                | T <sub>1</sub> | 40,0  | 35,0   |
| 6                              | T              | 47,8  | 30,0   |
|                                | T <sub>1</sub> | 40,1  | 32,4   |
| 7                              | T              | 47,2  | 31,0   |
|                                | T <sub>1</sub> | 41,0  | 32,0   |
| 8                              | T              | 55,0  | 39,2   |
|                                | T <sub>1</sub> | 48,0  | 39,0   |

TABLEAU 9

| N° de composition de l'alliage | Composition chimique en %<br>(base - Al) |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------|--|------|------|------|------|------|------|------|
|                                | Mo                                       | Mn   | Cr   | Ti   | Zr   | Ce   | V    | Sc   |
| 1                              | -  | 0,80 | -    | -    | -    | 0,10 | -    | 0,40 |
| 2                              | -  | 0,05 | -    | -    | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,15 |
| 3                              | -  | 0,20 | -    | -    | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,40 |
| 4                              | -  | 0,80 | -    | -    | 0,30 | 0,30 | 0,30 | 0,60 |
| 5                              | -  | -    | 0,10 | -    | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,40 |
| 6                              | -  | -    | -    | 0,10 | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,40 |
| 7                              | 0,10                                     | -    | -    | -    | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,40 |
| 8                              | 0,10                                     | 0,20 | 0,10 | 0,10 | 0,15 | 0,10 | 0,10 | 0,40 |

TABLEAU 10

| N° de composition de l'alliage | Caractéristiques de résistance                        |  |
|--------------------------------|---|--|
|                                | Limite de résistance<br>$\delta_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite fde fluidité<br>$\delta_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |
| 1                              | 15,3  | 9,30   |
| 2                              | 25,4  | 16,7   |
| 3                              | 29,1  | 25,3   |
| 4                              | 31,0  | 26,1   |
| 5                              | 28,8  | 24,5   |
| 6                              | 29,1  | 25,1   |
| 7                              | 27,9  | 21,1   |
| 8                              | 32,5  | 27,1   |

TABLEAU 11

*INFLUENCE DES REGIMES DE MOULAGE DES LINGOTS SUR LA TENUEUR EN SCANDIUM DANS LA SOLUTION SOLIDE SURSATURÉE DE L'ALUMINIUM*

| Diamètre du lingot<br>mm | Vitesse de moulage<br>m/h | Teneur en scandium dans<br>une solution solide<br>(masse en %) |
|--------------------------|---------------------------|--|
| 70-100                   | 5,0 - 5,5                 | 0,38   |
|                          | 3,0 - 3,8                 | 0,30   |
|                          | 1,2 - 1,3                 | 0,28   |
| 100-200                  | 4,2 - 5,5                 | 0,38   |
|                          | 3,4 - 4,2                 | 0,28   |
|                          | 1,2 - 1,3                 | 0,22   |
| 200-400                  | 2,1 - 3,4                 | 0,28   |
|                          | 1,5 - 2,5                 | 0,20   |
|                          | 0,9 - 1,0                 | 0,18   |
| 400-600                  | 1,5 - 2,5                 | 0,16   |
|                          | 0,9 - 1,0                 | 0,10   |

TABLEAU 12

PROPRIETES DES BARRES PRESSES DE ALLIAGE  
AL-6,5MG-0,4SC-0,1ZR

| Régime du traitement thermique | Etat           | Propriétés mécaniques                                 |   |
|--------------------------------|----------------|---|---|
|                                |                | Limite de résistance<br>$\sigma_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite de fluidité<br>$\sigma_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |
| Régime 1                       | Pressé à chaud | 38  | 24  |
|                                | Recuit         | 36  | 23  |
| Régime 2                       | Pressé à chaud | 45  | 33  |
|                                | Recuit         | 43  | 32  |

TABLEAU 13

PROPRIETES DES BARRES DE L'ALLIAGE  
AL-6,5MG-0,4SC-0,1ZR  
OBTENUS PAR DIFFERENTS REGIMES THERMIQUES ET  
REGIMES DE MOULAGE ET DE VITESSE

| Diamètre<br>du lingot<br>mm | Vitesse<br>du moulage<br>mm/h | Regime de traitement<br>thermique du lingot  | Vitesse<br>de déformatio<br>n<br>$\epsilon$ s <sup>-1</sup> | Propriétés mécaniques                                    |  |
|-----------------------------|-------------------------------|--|---|--|--|
|                             |                               |  |   | Limite de<br>résistance<br>$\sigma_b$ kg/mm <sup>2</sup> | Limite de<br>fluidité<br>$\sigma_{0,2}$ kg/mm <sup>2</sup> |
| 100                         | 5,5                           | Homogénéisation<br>à 480°C - 520°C<br>Réchauffement avant dé-<br>formation à 500°C | <100 s <sup>-1</sup>  | 38   | 24   |
|                             |                               |  | >100 s <sup>-1</sup>  | 30   | 18   |
|                             |                               | Homogénéisation<br>et réchauffement avant<br>déformation<br>à 430°C - 450°C        | <100 s <sup>-1</sup>  | 45   | 33   |
|                             |                               |  | >100 s <sup>-1</sup>  | 36   | 22   |
| 600                         | 0,9                           | Homogénéisation<br>à 480°C - 520°C<br>Réchauffement avant dé-<br>formation à 500°C | <100 s <sup>-1</sup>  | 32   | 18   |
|                             |                               |  | >100 s <sup>-1</sup>  | 32   | 18   |
|                             |                               | Homogénéisation<br>et réchauffement avant<br>déformation<br>à 430°C - 450°C        | <100 s <sup>-1</sup>  | 38   | 27   |
|                             |                               |  | >100 s <sup>-1</sup>  | 32   | 21   |

## REVENDICATIONS

1. Alliage à base d'aluminium comprenant essentiellement du scandium, du vanadium, du zirconium et du cérium caractérisé en ce qu'il contient (masse en %) :

|    |   |             |
|----|---|-------------|
| 5  | • Scandium  | 0,15 - 0,60 |
|    | • Vanadium  | 0,05 - 0,30 |
|    | • Zirconium   | 0,05 - 0,30 |
|    | • Cérium  | 0,05 - 0,30 |
| 10 | • Chacun des éléments additionnels choisis parmi magnésium et/ou béryllium, et/ou manganèse et/ou chrome et/ou titane et/ou cuivre et/ou molybdène. | 0,00 - 7,20 |

2. Alliage selon revendication (1) caractérisé en ce que les éléments additionnels sont magnésium, manganèse, chrome, titane et béryllium avec la répartition suivante des composants (masse en %) :

|    |                                 |             |
|----|---------------------------------|-------------|
|    | • Magnésium                     | 5,80 - 7,20 |
| 20 | • Manganèse ou chrome ou titane | 0,05 - 0,30 |
|    | • Béryllium                     | 0,01 - 0,05 |

3. Alliage selon revendication (1) caractérisé en ce que les éléments additionnels sont magnésium, manganèse, chrome, titane, et béryllium avec la répartition suivante des composants (masse en %) :

|    |                                  |               |
|----|----------------------------------|---------------|
| 25 | • Magnésium                      | 1,80 - 3,80   |
|    | • Béryllium                      | 0,001 - 0,005 |
|    | • Manganèse ou chrome, ou titane | 0,050 - 0,400 |

4. Alliage selon revendication (1) caractérisé en ce que les éléments additionnels sont magnésium, manganèse, chrome, titane, et cuivre avec la répartition suivante des composants (masse en %) :

|    |                                 |             |
|----|---------------------------------|-------------|
| 30 | • Cuivre                        | 2,80 - 4,50 |
|    | • Magnésium                     | 1,80 - 2,50 |
| 35 | • Chrome ou titane ou manganèse | 0,05 - 0,50 |

5. Alliage selon revendication (1) caractérisé en ce que les éléments additionnels sont manganèse, chrome, titane et molybdène avec la répartition suivante des composants (masse en %) :

- ♦ Manganèse ou chrome, ou titane, ou molybdène 0,05 - 0,80.

6. Alliage selon l'une quelconque des revendications (1) à (5) est caractérisé en ce que ces éléments peuvent être accompagnés de silicium et/ou zinc et/ou argent et/ou lithium et/ou cobalt et/ou nickel et/ou fer de 0,05% à 12% et /ou un ou plusieurs métaux du groupe de terre rare.

7. Procédé de fabrication de l'alliage selon l'une quelconque des revendications (1) à (6) consiste:

- à mouler le lingot dans un cristallisateur à glissement à une vitesse de refroidissement pendant cristallisation supérieure à 0,5°C/s
- homogénéisation des lingots à une température de 430°C à 450°C
- déformation à chaud (laminage ou pressage) après le réchauffement du lingot de 430°C à 450°C, fin de déformation à 300°C
- déformation à froid aux recuits intermédiaires à une température égale à 400°C, vitesse de déformation inférieure à 100s<sup>-1</sup> et le traitement thermique des semi-produits.



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Internat. Application No  
PCT/FR 95/00220

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 C22C21/06 C22C21/16 C22F1/047 C22F1/057

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 6 C22C C22F H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A         | EP,A,0 521 163 (MITSUBISHI KASEI CORPORATION) 7 January 1993<br>Claims 1,2         | 1                     |
| A         | US,A,4 950 560 (TARCY) 21 August 1990<br>Claims 1-43                               | 1                     |

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

16 May 1995

Date of mailing of the international search report

26.05.95

Name and mailing address of the ISA  
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Lippens, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internat. Application No

PCT/FR 95/00220

| Patent document<br>cited in search report | Publication<br>date | Patent family<br>member(s) | Publication<br>date |
|---|---------------------|----------------------------|---------------------|
| EP-A-0521163                              | 07-01-93            | WO-A- 9213360              | 06-08-92            |
| US-A-4950560                              | 21-08-90            | NONE                       |                     |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dema internationale No  
PCT/FR 95/00220

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE</b><br>CIB 6 C22C21/06 C22C21/16 C22F1/047 C22F1/057   |  |   |
| Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB  |  |   |
| <b>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</b><br>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)<br>CIB 6 C22C C22F H01L  |  |   |
| Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche  |  |   |
| Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)  |  |   |
| <b>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</b>  |  |   |
| Catégorie *  | Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents | no. des revendications visées   |
| A  | EP,A,0 521 163 (MITSUBISHI KASEI CORPORATION) 7 Janvier 1993<br>*Revendications 1,2*           | 1   |
| A  | US,A,4 950 560 (TARCY) 21 Août 1990<br>*Revendications 1-43*                                   | 1   |
| <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> <input type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents         </div> <div> <input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe         </div> </div>   |  |   |
| <div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>* Catégories spéciales de documents cités:</p> <p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cite pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p> </div> <div style="flex: 1;"> <p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p> </div> </div> |  |   |
| Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée<br><br><div style="text-align: center;">16 Mai 1995</div>  |  | Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale<br><br><div style="text-align: center;">26.05.95</div> |
| Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale<br>Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,<br>Fax (+ 31-70) 340-3016   |  | Fonctionnaire autorisé<br><br><div style="text-align: center;">Lippens, M</div>   |

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR 95/00220

| Document brevet cité<br>au rapport de recherche | Date de<br>publication | Membre(s) de la<br>famille de brevet(s) | Date de<br>publication |
|---|------------------------|---|------------------------|
| EP-A-0521163                                    | 07-01-93               | WO-A- 9213360                           | 06-08-92               |
| US-A-4950560                                    | 21-08-90               | AUCUN                                   |                        |

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include-but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**